

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND

DEUTSCHES  
PATENTAMT(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 44 01 892 A 1

(51) Int. Cl. 6:

**H 01 S 3/038**

// H01S 3/0971

DE 44 01 892 A 1

(21) Aktenzeichen: P 44 01 892.4  
 (22) Anmeldetag: 24. 1. 94  
 (43) Offenlegungstag: 27. 7. 95

## (11) Anmelder:

Lambda Physik Forschungsgesellschaft mbH, 37079  
Göttingen, DE

## (12) Erfinder:

Bücher, Hermann, Dr., 52074 Aachen, DE; Frowein,  
Helmut, 37077 Göttingen, DE

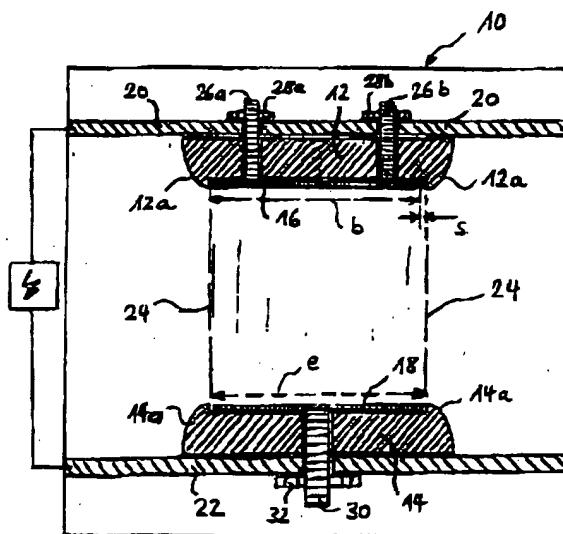
## (14) Vertreter:

Frhr. von Pachmann, E., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Behrens, D., Dr.-Ing.; Brandes, J., Dipl.-Chem.  
Dr.rer.nat.; Goetz, R., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
von Helffeld, A., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte;  
Würtzberger, G., Dr., Rechtsanw.; Schmidt, S.,  
Dipl.-Ing. Univ.; Wibbelmann, J., Dipl.-Chem.Univ.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 81541 München

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

## (54) Elektrode für einen Gasentladungslaser

(57) Es werden Elektroden für Gasentladungslaser, insbesondere Excimerlaser, vorgeschlagen, die eine metallische Einlage 16, 18 aufweisen, die in einen Körper 12, 14 eingebettet ist, der aus einem gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Material besteht, z. B. aus Keramik.



DE 44 01 892 A 1

## DE 44 01 892 A1

1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Elektrode für einen Gasentladungslaser.

Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf Elektroden für Excimerlaser, wobei auch solche Laser eingeschlossen sein sollen, in deren Gasentladung sogenannte Exciplexe oder auch Trimere auftreten, also angeregte Edelgashalogenide, die nur in angeregten Zuständen stabil sind, so daß bei der stimulierten Emission ein Übergang in einen nicht gebundenen Zustand erfolgt.

Transversal angeregte Gasentladungslaser weisen eine mit dem sogenannten Arbeitsgas (auch Lasergas genannt) gefüllte Laserkammer auf, in der zwei Elektroden üblicherweise parallel zur optischen Achse eines Laser-Resonators angeordnet sind. Diese Elektroden dienen der sogenannten Hauptentladung des Lasers, zwischen ihnen wird also die Gasentladung gezündet. Um eine effektive Anregung des Arbeitsgases für die Gasentladung zu erreichen, wird dieses vor dem Einsetzen der Hauptentladung einer Vorionisierung unterworfen, d. h. es werden vor Beginn der Hauptentladung mittels einer Vorionisierung  $10^5$  bis  $10^8$  freie Elektronen pro  $\text{cm}^3$  im Lasergas erzeugt. Es ist bekannt, für diese Vorionisierung ebenfalls gesonderte Elektroden vorzusehen und zwischen ihnen Funken zu zünden. Diese der Vorionisierung dienenden Elektroden werden üblicherweise auch als Hilfselektroden bezeichnet. Außer einer derartigen UV-Vorionisierung mit Funken ist auch eine Corona-Vorionisierung oder eine Röntgenvorionisierung möglich.

Arbeitsgasmischungen für Excimerlaser (genauer: Exciplexlaser) enthalten neben Edelgasen auch eine Halogenkomponente oder einen Hologendonor, wie  $\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{HCl}$  etc. Bei einem Gesamtdruck von 1,5 bis 10 bar beträgt die Halogenkonzentration 0,1 bis 0,5%. Diese Gasmischung wird zwischen die zwei langgestreckten parallelen Hauptentladungselektroden gebracht und der Hochspannungsentladung ausgesetzt. Um Laserimpulse hoher Energie zu erzeugen, sind bei der Hochspannungsentladung sehr hohe Stromdichten von typischerweise  $10^3 \text{ A/cm}^2$  und Leistungsdichten von  $10^6 \text{ W/cm}^3$  und Elektronentemperaturen im Bereich von 1 eV erforderlich. Die gesamte Entladungseinheit unterliegt daher einer sehr starken Beanspruchung.

Die Abtragung von Elektrodenmaterial während des Betriebs wird üblicherweise als "Elektrodenabbrand" bezeichnet. Die physikalischen und chemischen Ursachen des Elektrodenabbrandes sind vielfältig und zum Teil auch noch nicht vollständig verstanden. Insbesondere treten, je nach Art des Lasergases und der Entladung, Zerstäubungerscheinungen ("sputtern") und auch chemische Reaktionen auf, die durch das Entladungsplasma verursacht sind.

Im Stand der Technik hat man versucht, dem Problem des Elektrodenabbrandes dadurch zu begegnen, daß metallische Materialien für die Elektroden gewählt wurden, bei denen der Abbrand im jeweiligen Einsatzfall (Lasertyp, Gasgemisch etc.) auf ein Minimum reduziert ist. Es bleibt aber festzustellen, daß der Elektrodenabbrand grundsätzlich unvermeidlich ist.

Der Elektrodenabbrand ist aber nicht nur wegen des Auftretens schädlicher Produkte wie Staub und Metallhalogenide in der Laserkammer unerwünscht, sondern besonders deshalb nachteilig, weil sich mit dem Abbrand die Elektrodengeometrie und somit auch die elektrische Feldverteilung im Gasentladungsbereich ändert, so daß mit zunehmender Betriebsdauer des Lasers die

2

Leistungsdaten der Laserstrahlung sich in unerwünschter Weise verändern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die schädlichen Auswirkungen des Elektrodenabbrandes bei Gasentladungslasern, insbesondere Excimerlasern, zu reduzieren.

Erfundungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die Elektroden für einen Gasentladungslaser jeweils mit einer Einlage versehen werden, die in einen Körper eingebettet ist, der aus einem gegen Elektrodenabbrand weitgehend unempfindlichen Material besteht. Die Einlage besteht aus metallischem Material und bildet die eigentliche Elektrode im engeren, herkömmlichen Sinn. Der die Einlage teilweise umgebende Körper braucht dann nicht mehr aus metallischem Material zu bestehen, sondern kann aus einem isolierenden Material geformt sein, so daß für diesen Körper wesentlich mehr Materialien zur Verfügung stehen als für die metallische Einlage.

Als Material für die metallische Einlage kommen alle im Stand der Technik bekannten Elektrodenmaterialien für Excimerlaser in Betracht beispielsweise Nickel, Messing, Aluminiumlegierungen, Metalle der Platingruppe oder Gold, und Legierungen von Platin etc.

Die Erfindung sucht dem Problem des Elektrodenabbrandes nicht primär dadurch abzuhelfen, daß gegen den Abbrand besonders widerstandsfähige Materialien gefunden werden, sondern daß vielmehr der Abbrand, der auch mit den zur Zeit bestmöglichen Materialien nicht zu vermeiden ist, hingenommen wird, jedoch die Auswirkungen des Abbrandes auf eine Veränderung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden weitestgehend reduziert werden.

Erfundungsgemäß bestehen also die Elektroden nur im gewünschten Entladungsbereich aus Metall. In einem Querschnitt senkrecht zur Längsachse der Elektroden (und somit auch quer zur optischen Achse des Resonators) schließen sich an die metallische Einlage konturierende Bereiche des gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Körpers an, wobei die Konturierung so erfolgt, daß die elektrische Feldverteilung den gewünschten Verlauf zwischen den metallischen Einlagen aufweist und insbesondere die Gasentladung auf den Scheitelbereich der Elektrode konzentriert ist.

Die Feldverteilung in Abhängigkeit vom Elektrodenabbrand (also der Reduzierung der Stärke der metallischen Einlage) läßt sich im voraus berechnen, und es können die Profile des gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Körpers so gewählt werden, daß bei den typischen Abbrandstärken von bis zu  $0,3 \mu\text{m}$  (was bei etwa 1000 Millionen Laserpulsen erreicht sein kann) die für die Gasentladung maßgebliche Feldstärkeverteilung kaum geändert wird.

Beim Stand der Technik wird üblicherweise mit zunehmender Betriebsdauer des Lasers (steigender Pulszahl) die Brennfläche der Gasentladung auf den Elektroden breiter. Durch diese Verbreiterung wird der Feldverlauf zwischen den Elektroden geändert und somit ändern sich auch die Eigenschaften der Gasentladung, so daß auch die Konstanz der Leistung des Lasers in einem vorgegebenen Raumwinkel nicht mehr gewährleistet ist. Diesem Nachteil wird durch die Erfindung abgeholfen, da auch mit zunehmendem Abbrand die Elektroden nicht breiter und damit die elektrische Feldstärkeverteilung nicht wesentlich geändert wird. Hierzu ist die metallische Einlage in dem Keramikkörper so gestaltet, daß ihre Breite unabhängig ist vom Abbrand.

Der gegen Elektrodenabbrand weitgehend unemp-

## DE 44 01 892 A1

3

4

findliche Körper besteht aus dielektrischem Material. Mit bekannten Verfahren der Feldstärkesimulation können Feldverteilungen zwischen den Elektroden in Abhängigkeit vom Abtrag der Einlage berechnet werden, und der dielektrische Körper beidseits der metallischen Einlage kann so gestaltet werden, daß die Feldverteilung auch bei zunehmendem Abbrand gleich bleibt.

Die Breite der Gasentladung ist gleich der Breite der metallischen Einlagen (im Stand der Technik ist die Breite der metallischen Elektroden regelmäßig größer als die Breite der Gasentladung).

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Als dielektrische Materialien kommen Keramiken mit hoher Dielektrizitätskonstante zum Einsatz, insbesondere Aluminiumoxyd, Zirkinoxid, und Aluminiumnitrid. Es zeigt:

Fig. 1 schematisch einen Schnitt durch die Entladungskammer eines Excimerlasers gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Excimerlasers; und

Fig. 3 eine abgewandelte Elektrode.

Die Entladungskammer 10 ist mit einem Lasergas gefüllt, das insbesondere in den Bereich zwischen zwei Elektroden 12, 14 gefördert wird.

Die Elektroden bestehen jeweils aus einem Keramikkörper 12 bzw. 14, in dem eine Ausnehmung entladungsseitig ausgeformt ist, in welcher jeweils eine metallische Einlage 16 bzw. 18 befestigt ist.

Als Material für die metallischen Einlagen 16, 18 kommen die bekannten Elektrodenmaterialien (s. o.) in Betracht. Die Figur ist ein Schnitt senkrecht zur optischen Achse des Excimerlasers, d. h. senkrecht zu den Längsachsen der Elektroden. Die Breite *b* jeder metallischen Einlage 16, 18 liegt z. B. zwischen 4 und 15 mm, vorzugsweise zwischen 5 und 8 mm. Die Entladungsfläche ist plan oder profiliert. Zwischen den Enden der metallischen Einlagen 16, 18 und dem gegenüberliegenden Rand der Ausnehmung im Keramikkörper 12, 14 kann ein Spalt gegeben sein, dessen Breite in der Figur mit "s" dargestellt ist. In Abhängigkeit von diesem Spalt werden die Keramikkörper 12, 14 in den Bereichen 12a, 14a, die der metallischen Einlage unmittelbar benachbart sind, konturiert, und zwar so, daß die elektrische Feldstärkeverteilung im Bereich zwischen den Elektroden möglichst homogen ist und sich auch nicht mit einem Abbrand der metallischen Einlagen 16, 18 wesentlich ändert. Für die Ermittlung der Kontur in den Abschnitten 12a bzw. 14a der Keramikkörper 12 bzw. 14 können jeweils unterschiedliche Abbrand-Situationen simuliert werden, und es kann so durch rechnerische Simulation ein bestmögliches Profil für den Keramikkörper gefunden werden.

Die Keramikkörper 12 bzw. 14 sind jeweils durch Elektrodenträger 20 bzw. 22 abgestützt. Die Elektrodenträger 20, 22 bestehen aus elektrisch leitfähigem Material z. B. Metall. Mittels elektrisch leitender Bolzen 26a, 26b, die den Elektrodenträger und den zugehörigen Keramikkörper 12 durchsetzen, wird die metallische Einlage 16 der Elektrode befestigt. Dabei sind die Bolzen 26a, 26b jeweils fest mit der metallischen Einlage 16 verbunden. Mittels auf die Bolzen 26a, 26b aufgeschraubter Schrauben 28a, 28b wird die Elektrode insgesamt mit dem Elektrodenträger 20 verbunden.

Die in Fig. 1 unten dargestellte Elektrode ist mit einem einzigen leitenden Bolzen 30 und einer Schrauben-

mutter 32 am Elektrodenträger 22 montiert. Für die Gasentladung wird zwischen die Elektrodenträger 20, 22 und damit auch zwischen die metallischen Einlagen 16, 18 eine Hochspannung angelegt.

Es sind die Abmessungen der metallischen Einlagen 16, 18 und die Geometrie der Keramikkörper 12, 14, insbesondere in den Bereichen 12a, 14a, so aufeinander abgestimmt, daß zum einen die Breite der metallischen Einlagen auf zumindest annähernd die Entladungsbreite "e" reduziert ist und zum anderen die Konturierung der Keramikkörper so gewählt ist, daß ein möglichst homogenes elektrisches Feld im Entladevolumen 24 (also dem Raum, in dem die Entladung stattfindet) erreicht ist.

Fig. 2 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel eines Elektrodensatzes für einen Excimerlaser. Einander entsprechende oder in der Funktion vergleichbare Bauteile sind mit gleichen Bezugsziffern versehen, wobei abgewandelte Varianten jeweils mit Buchstaben gekennzeichnet sind.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 sind die metallischen Einlagen 16 massiv ausgebildet und erstrecken sich durch den Keramikkörper 12c, 12d bis zum Elektrodenträger 20. Die Befestigung der metallischen Einlage 16 am Elektrodenträger 20 erfolgt mittels einer Schraube 34. Die gegenüberliegende metallische Einlage 18 der anderen Elektrode wird mittels einer Schraube 36 am Elektrodenträger 22 befestigt. Auch hier sind wieder die Bauteile 16, 34, 20, 22, 36 und 18 elektrisch leitend.

Die zwischen den Keramikkörpern 12c, 12d und 14c, 14d angeordneten massiven metallischen Einlagen 16, 18 der Elektroden haben eine Breite "b", die der Entladungsbreite (vgl. Fig. 1) entspricht. Die metallischen Elektroden einlagen 16, 18 können auch mit einem Profil, also einer nicht völlig ebenen Oberfläche, versehen sein. Die barrenförmigen metallischen Einlagen 16, 18 können gemäß Fig. 2 mit Bohrungen 38 bzw. 40 für ein Kühlmittel versehen sein.

Die Formung des elektrischen Feldes bei Anlegen einer Hochspannung an die Elektroden derart, daß die Zündung der Gasentladung zwischen den Elektroden nur zwischen den elektrisch leitenden metallischen Einlagen 16, 18 einsetzt, wird durch entsprechend geformte Seitenprofile 12c, 12d, 14c, 14d aus dielektrischem Material (z. B. Keramik) erreicht. Die mangelnde Leitfähigkeit dieser dielektrischen Körper führt dazu, daß eine Ausdehnung der Entladung in Bereiche außerhalb der elektrisch leitenden Einlagen 16, 18 hinaus innerhalb kürzester Zeit (typischerweise 1 bis 2 ns), also noch während der Zündphase der Gasentladung, abbricht. Dies ist aus der Gasentladungsphysik bekannt, und wird dort als "dielektrisch behinderte Entladung" bezeichnet.

Fig. 3 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel eines Gasentladungslasers, wobei hier nur eine einzige Elektrode dargestellt ist. Die zweite Elektrode wäre analog hinzuzufügen. Bei diesem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 wird die Elektrode durch einen massiven Metallkörper 16 gebildet, der einen mittigen, der Gasentladung zugewandten Vorsprung 16a aufweist. Der Vorsprung 16a definiert die Breite "b" der Gasentladung. Direkt angrenzend an den Vorsprung 16a sind gemäß Fig. 3 keramische Körper 12e, 12f plaziert. Die keramischen Abdeckungen 12e, 12f können insbesondere auch durch Plasmaspritzen aufgebracht werden. Sie werden geometrisch so gestaltet, daß die für die gewünschte Formung des elektrischen Feldes erforderliche Elektrodenkontur entsteht.

Bei allen vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen der Erfindung wird, wie gesagt, die Kontur der me-

## DE 44 01 892 A1

5

tallischen Einlagen 16, 18 und der zugehörigen dielektrischen Körper so bestimmt, daß das elektrische Feld eine Gasentladung nur zwischen den metallischen Einlagen bewirkt. Im Stand der Technik metallischer Elektroden (also ohne die erfundungsgemäßen keramischen Abdeckung n) ist es bekannt, die Form der Elektroden zu optimieren. Verwiesen wird insbesondere auf folgende Literatur: "Compact Uniform Field Profiles", Gerard J. Ernst, Department of Applied Physics, Twente University of Technology, Enschede, The Netherlands, Optics 10 Communications, vol 47, Nr. 1, 1. August 1983; "Improved Uniform-Field Electrode Profiles for TEA Laser and High-Voltage Applications", T. Y. Chang, Bell Telephone Laboratories, The Review of Science Instruments, vol. 41, Nr. 4, April 1973 und "A novel analytical design method for discharge laser electrode profiles", E. A. Stappaerts, Northrop Corporation, Appl. Phys. Lett. 40/12, 15. Juni 1982.

Diese bekannten Optimierungsverfahren können grundsätzlich auch für die Berechnung der Abmessungen und Konturen der metallischen Einlagen und der Keramikkörper gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden. Bei diesen Methoden wird mit Hilfe der Potentialtheorie und der Methode der sogenannten konformen Abbildung zunächst von einem analytisch geschlossenen darstellbaren Profil ausgegangen. Wie dem Fachmann bekannt ist, kann beispielsweise das sogenannte Rogowski-Profil als Ausgangspunkt genommen werden. Mit einem solchen Profil als Ausgangspunkt wird dann experimentell die Kontur schrittweise verändert und es wird die damit jeweils erzeugte Intensitätsverteilung der Laserstrahlung gemessen. Gleichzeitig wird die elektrische Feldstärkeverteilung zwischen den so veränderten (mathematisch nicht mehr mit einem geschlossenen analytischen Ausdruck beschreibbaren) 35 Konturen zum Zündzeitpunkt mit einem Rechenprogramm berechnet, und zwar nach dem bekannten Finite-Elemente-Verfahren. Damit werden rein rechnerisch Konturkoordinaten für die Elektrodensysteme und zugehörige Intensitätsprofile der mit solchen Elektrodenpaaren erzeugten Laserstrahlung gewonnen.

Die Bestimmung der Konturen der dielektrischen Teile gemäß den Fig. 1 bis 3 erfolgt nun ausgehend von der Kontur der Vollmetallelektrode wiederum mit dem Finite-Elemente-Verfahren, wobei die Kontur so lange verändert wird, bis sich eine elektrische Feldstärkeverteilung zwischen den Elektroden ergibt, von der aus Erfahrung bekannt ist, daß sie das gewünschte Laserstrahlintensitätsprofil erzeugt. Rechnungen zeigen, daß dies für die vorstehend beschriebenen Verbundelektroden aus metallischen und dielektrischen Teilen möglich ist. Insbesondere zeigen die Rechnungen, daß ein Elektrodenabstand von bis zu einigen Zehntel Millimeter in der Elektrodenmitte nicht zu schädlichen Änderungen des Entladungsverhaltens zwischen den leitenden Metallteilen der Verbundelektroden führt. Bei Vollmetallelektroden gemäß dem Stand der Technik hingegen führt eine solche Konturänderung zu einer stetigen Verbreiterung der Entladung mit einer damit einhergehenden stetigen Abflachung der für die Konzentrierung der 55 Entladung auf den Elektrodenmittelteil kritischen Konturausbildung.

Der die Elektrode beidseits der Entladung eingrenzende dielektrische Körper 12, 14 wird also so geformt, daß bei gegenüberliegender Anordnung zweier Elektroden im Entladungsbereich die Homogenität der Feldverteilung optimiert ist, und zwar auch dann noch, wenn sich im Verlauf des Gebrauches der Elektrode die

6

Kontur im üblichen Maße (leicht) verändert.

Die Erfindung beinhaltet auch einen Elektrodensatz für einen Gasentladungslaser, bei dem zumindest eine der Elektroden, vorzugsweise die Anode, in der oben beschriebenen Weise ausgestaltet ist.

## Patentansprüche

1. Elektrode für einen Gasentladungslaser, mit einer Einlage (16, 18) aus Metall, die in einem Körper (12, 14) eingebettet ist, der aus einem anderen, gegen Elektrodenabbrand unempfindlichen Material besteht.
2. Elektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper (12, 14) zumindest teilweise aus Keramik besteht.
3. Elektrode nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Einlage (16, 18) eine Breite (b) hat, die der Breite (e) der Gasentladung entspricht.
4. Elektrode nach einem der hervorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper (12, 14) beidseits der Einlage (16, 18) so geformt ist, daß bei gegenüberliegender Anordnung zweier Elektroden im Entladungsbereich die Homogenität der Feldverteilung gefördert ist.
5. Elektrodensatz für einen Gasentladungslaser dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Elektrode, vorzugsweise die Anode, gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 gestaltet ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen